



TITLE:

中Mn鋼におけるフェライト＋マルテンサイトDual Phase組織の形成と力学特性(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

伊東, 篤志

CITATION:

伊東, 篤志. 中Mn鋼におけるフェライト＋マルテンサイトDual Phase組織の形成と力学特性. 京都大学, 2017, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2017-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20365>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-03-23に公開; 許諾条件により要旨は2017-06-23に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	伊東 篤志
論文題目	中Mn鋼におけるフェライト+マルテンサイトDual Phase組織の形成と力学特性		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、マンガン(Mn)を 3~10wt%含む炭素鋼として定義される中 Mn 鋼である、Fe-4wt%Mn-0.1wt%C および Fe-4wt%Mn-0.1wt%C-2wt%Si 合金を用い、ひずみ速度・変形温度・保持時間といったオーステナイト化後の高温加工熱処理条件を系統的に変化させたときのフェライト変態挙動を、得られる材料組織や力学特性と関連させながら調査・議論した実験研究結果を取りまとめたものであり、6 章からなっている。</p>			
<p>第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的を示している。近年工業分野において、一般にはトレードオフの関係にある強度と延性の両者を向上させた構造材料が要求されている。鉄鋼材料の場合、そうした高強度鋼は Advanced High Strength Steel (AHSS) と呼ばれ、優れた力学特性かつ経済性を目指して開発・研究が行われている。第三世代 AHSS として期待の高い中 Mn 鋼においてフェライト+マルテンサイト Dual Phase (DP) 組織を形成すれば、優れた強度と延性を両立できることが期待できる。過去の報告ではマルテンサイトを出発組織とした場合の加工熱処理によってフェライト+オーステナイト二相組織が形成されることが示されているが、本研究では実際の鉄鋼の製造プロセスに則して、オーステナイトを出発組織とした加工熱処理による DP 組織 の形成を研究している。オーステナイトを出発組織とした場合には、二相域でフェライト変態を発現させる必要がある。フェライト変態の一種に、加工中のオーステナイトから生じる動的フェライト変態と呼ばれる現象が存在する。動的フェライト変態は力学特性に優れた微細なフェライト粒組織が得られること、および静的変態と比較して変態 kinetics が早いことが特徴である。しかし、中 Mn 鋼における静的フェライト変態およびオーステナイトを加工した場合の動的フェライト変態の kinetics、形成される組織や力学特性はほとんど明らかとなっていない。そこで本研究は、中 Mn 鋼に対してオーステナイト化後の加工温度・ひずみ速度・保持時間を系統的に変化させた加工熱処理実験を行い、フェライト変態における組織形成機構などその詳細を明らかにするとともに、二相域で得られるフェライト+オーステナイト組織を急冷することによって得られる DP 組織 の力学特性と組織の関係を明らかにすることを目的としている。</p>			
<p>第 2 章では、4Mn-0.1C 鋼の静的フェライト変態および動的フェライト変態を利用した DP 組織 の形成について述べている。オーステナイトを出発組織として熱処理を実施し、膨張計により変態点を調べることで、4wt%の Mn の添加により静的フェライト変態の kinetics が大きく遅延することを明らかにしている。一方、熱間加工シミュレーターを用いて高温でオーステナイトを加工することにより、変態 kinetics が加速されて変形中の動的フェライト変態が発現し、得られるフェライト+オーステナイト組織を急冷することで DP 組織 が獲得可能であることを示している。</p>			
<p>第 3 章では、第 2 章で見出した 4Mn-0.1C 鋼の動的フェライト変態について、加工温度およびひずみ速度を変化させて、加工条件が組織形成および力学特性に及ぼす影響を調べている。加工温度およびひずみ速度を変化させてオーステナイトを加工するこ</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	伊東 篤志
<p>とで、0~100%の種々のフェライト分率の微細なフェライト粒（平均フェライト粒径 $1\ \mu\text{m}$ 以下）からなるフェライト+オーステナイト組織が形成されることを見出している。動的フェライト変態においては、加工温度の低下およびひずみ速度の低下に伴いフェライト量の増加およびフェライト粒の微細化が進行することを明らかにしている。また三元系合金の相変態挙動を決める局所平衡モードについて、動的フェライト変態においてはフェライトとマルテンサイト間に Mn の濃度差が認められた事実から、Mn の分配をもたらす分配局所平衡が選択されることを見出している。フェライト+オーステナイト組織を急冷して得られた DP 組織の力学特性を調べ、強度と延性がフェライト分率にあまり依存しないことも明らかにしている。</p> <p>第4章では、フェライト+オーステナイト二相域での加工後に同じ温度で静的な等温保持を行い、等温保持が組織形成と力学特性に及ぼす影響を調べている。等温保持によりフェライト量の増加およびフェライト粒の粗大化が認められた事実から、オーステナイトの加工が静的フェライト変態も加速すると結論づけている。加工のみを施した場合と同様に Mn の分配が認められたため、加工後の静的フェライト変態においても分配局所平衡が選択されることを示している。また条件によっては、等温保持により室温冷却後にオーステナイトが残留することを明らかにしている。残留オーステナイトの発生については、Mn の分布状態や熱力学計算による平衡状態時の炭素濃度をもとに考察を行い、Mn および炭素(C)の両者がオーステナイトに濃化することが重要であると結論づけている。加工後の比較的短時間の等温保持により得られた DP 組織の力学特性は、フェライト分率の増加にも関わらず、加工のみで得られた DP 組織とほぼ同等であり、加工のみを施した場合と同様に、強度・延性がフェライト分率にあまり依存しないことを見出している。一方、加工後の長時間の等温保持により得られた DP 組織においては強度の低下が認められ、これには圧縮加工されたフェライトの回復や粗大化が影響していると考察している。</p> <p>第5章では、ケイ素(Si)を添加した中 Mn 鋼(Fe-4Mn-0.1C-2Si 合金)を用いて、Si 添加が組織形成および力学特性に及ぼす影響を調べている。Si 添加により静的フェライト変態および動的フェライト変態が抑制されること、Si 添加はオーステナイトの残留を促進しないことを明らかにしている。マルテンサイトを出発組織としてフェライト+オーステナイト二相域で加工熱処理を行った従来の研究では、Si 添加が炭化物の析出を抑制して残留オーステナイトの発生を促進すると考えられてきた。しかし本章の結果は、オーステナイトを出発組織とした加工熱処理においては、Si を添加しても残留オーステナイトの発生が必ずしも促進されないことを初めて示すものである。また Si 添加が最終的に得られるフェライト+マルテンサイト DP 組織の力学特性に与える影響として、強度の上昇および延性の低下を明らかにしている。</p> <p>第6章は総括であり、本研究で得られた結果を要約し、総括している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、マンガン(Mn)を 3~10wt%含む炭素鋼として定義される中 Mn 鋼である Fe-4wt%Mn-0.1wt%C および Fe-4wt%Mn-0.1wt%C-2wt%Si 合金を用い、ひずみ速度・変形温度・保持時間といったオーステナイトの加工熱処理条件を系統的に変化させたときのフェライト変態挙動を、形成される材料組織や力学特性と関連させながら調査・議論した実験研究結果を取りまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 4Mn 鋼における静的フェライト変態の kinetics が極めて遅いこと、一方オーステナイトの加工によりフェライト変態の kinetics は著しく加速され、変形中の動的フェライト変態が生じることを見出した。フェライト+オーステナイト組織を急冷すると種々の分率の微細なフェライト粒を有する DP 組織が形成できることを明らかにした点は、中 Mn 鋼の利用を考える上で有益な成果である。
2. 元素分析の結果、フェライトとマルテンサイト間で Mn の濃度差が認められたため、動的フェライト変態においては分配局所平衡が選択されることを明らかにした。また Mn および C の濃化により残留オーステナイトが発生する可能性を示した。
3. 動的フェライト変態を利用して形成された DP 組織の力学特性がフェライト分率にあまり依存しないことを明らかにした。軟質なフェライト相が生成するにもかかわらず高い強度と十分な延性が得られることを見出した本成果は、中 Mn 鋼の構造材料としての可能性を広げる貴重な結果である。
4. 従来のマルテンサイトを出発組織とした二相域加工熱処理では、Si の添加は炭化物の析出を抑制して C を濃化させることで残留オーステナイトの発生を促進させると考えられてきたが、オーステナイトを出発組織とした加工熱処理の場合には、Si の添加が残留オーステナイトの発生を促進しないことを初めて明らかにした。

以上の成果をまとめた本論文は、中 Mn 鋼のオーステナイトを出発組織とする加工熱処理プロセスにおける組織形成過程を系統的に調査した初めての実験研究結果である。本研究では、加工中に生じる動的フェライト変態を通じて種々の体積分率の微細なフェライト粒を有する DP 組織が得られることを初めて明らかにしており、学術上寄与するところが少なくない。得られた DP 組織は優れた力学特性を有し、第 3 世代 AHSS としての応用が強く期待される。また本研究の成果は、オーステナイト状態でプレス加工を施しそのまま冷却してマルテンサイトとするホットスタンピング工程を中 Mn 鋼に適用する上でも重要な基礎的知見となるものである。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 29 年 2 月 22 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、(平成 32 年 3 月 22 日までの間)当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 平成 29 年 6 月 23 日以降